

**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**GRADO EN CIENCIAS DEL MAR**  
**TRABAJO FIN DE GRADO**  
**CURSO ACADÉMICO [2017-2018]**

TÍTULO:

**Estudio de la reproducción en praderas de *Cymodocea nodosa* (Ucria)  
Ascherson mediante la producción de semillas**

AUTORA:

**Alicia Gran García**



## Agradecimientos

En primer lugar, no podría haber hecho este trabajo, ni de lejos, sin la ayuda de mi tutora, Yolanda Fernández Torquemada. Gracias por la oportunidad y por guiarme y enseñarme durante todo el proceso, por el tiempo dedicado, por contestar a mis mil y una preguntas, por tus magníficos esquemas y por el apoyo e infinita paciencia.

Agradecer a Yoana del Pilar Ruso, José Antonio de la Ossa, Luis Miguel Ferrero y Yolanda por la obtención de las muestras para este trabajo, que se encuentra dentro del proyecto RESIGRASS. A Blanca Salvador, Sandra Gimeno, Beatrice Giuliana Saba y Yolanda por el procesado de parte de las muestras. También, a toda persona del Departamento de Ciencias del Mar y Biología Aplicada que en algún momento me ha resuelto la más mínima duda que me pudiera surgir.

A mis amigas de la universidad, que han hecho de estos cuatro años una etapa inolvidable. Mención especial para Fabio, por estar siempre dispuesto a ayudarte y animarte en todo lo posible. A Sandra R., por tener siempre un hueco para todas mis preocupaciones y soportar, en sus palabras, mi desesperante negatividad. Y a Sandra N. por las conversaciones acompañadas de café.

Por último, aunque es un poco imposible plasmarlo en un párrafo, a Verónica, por obligarme a desconectar cuando mi vida se reducía a la universidad, y mucho más importante, por todos estos años de apoyo incondicional. A Laura, por animarme en todo momento y confiar siempre en mí, aun cuando yo no lo hacía. Y por supuesto a mi hermano, *pels ànims de merda*.

Por todo ello, gracias.



## Resumen

*Cymodocea nodosa* es una fanerógama marina dioica que se reproduce tanto vía asexual como sexual. Este último método de reproducción se caracteriza por un ciclo anual sensible a las condiciones ambientales que consta de los procesos de floración, fructificación y producción de semillas, así como de germinación y posterior desarrollo de plántulas. Esta especie forma bancos de semillas con un periodo de latencia de 7-9 meses, gracias a lo cual se ve favorecida por la adquisición de nuevos genotipos. Conocer la reproducción de esta especie permite comprender su estado y resiliencia y, por tanto, su posible evolución y recuperación. A pesar de ello, existe un claro desconocimiento al respecto.

En este trabajo se estudia la dinámica reproductora de *C. nodosa* mediante la producción de semillas. Para ello, se escogieron tres localidades de la provincia de Alicante con distinto nivel de protección: Albufereta (alto), Tabarca (intermedio) y San Juan (bajo); a lo largo de seis tiempos distribuidos en casi dos años. Se realizó una caracterización previa de las praderas, obteniendo así valores de cobertura y densidad de haces. Se contabilizaron frutos y semillas y se midieron los parámetros biométricos de estas para determinar su tamaño. Se comprobó si aparecían semillas germinadas o plántulas.

Los resultados mostraron una densidad de semillas significativamente mayor en la localidad más protegida. Apenas hubo producción de semillas en el resto de localidades, excepto para Tabarca durante mayo de 2017. No se observaron semillas germinadas ni plántulas. La biomasa de las semillas de la Albufereta es relativamente menor para la producción de 2016-2017 frente a 2017-2018, y mayor frente al único tiempo con semillas de Tabarca. Las distintas estrategias reproductivas entre tiempos y localidades podrían deberse a factores tanto exógenos como endógenos. Mejorar y continuar este proyecto ayudará a conocer de manera más concluyente la dinámica reproductora de las praderas de *C. nodosa* en la provincia de Alicante.

**Palabras clave:** *Cymodocea nodosa*; reproducción; producción de semillas; tamaño de semillas; banco de semillas.

## Abstract

*Cymodocea nodosa* is a dioecious seagrass that reproduces both asexually and sexually. This last reproductive method is characterized by an annual cycle sensitive to environmental conditions that consists of flowering, fruiting and seed production processes, as well as germination and the subsequent seedling development. This species forms seed banks with a 7-9 month period of dormancy, thanks to which it is favoured by the acquisition of new genotypes. Studying the reproduction of this species allow us to understand its health and resilience and, therefore, its possible evolution and recovery. Despite all of this, there is a lack of information about this subject.

The main aim of this study was to analyse the reproductive dynamics of *C. nodosa* through seed production. To do so, we chose three locations in the province of Alicante with different protection level: Albufereta (high), Tabarca (medium) and San Juan (low); through six times distributed along almost two years. Meadows were previously characterized, obtaining its coverage and shoot density values. Fruits and seeds were counted and the biometric parameters of seeds were measured to determine its size. We checked if there were germinated seeds or seedlings.

The results showed a significantly higher seed density in the most protected location. Seed production barely occurred in the rest of the locations, except for Tabarca in May 2017. No germinated seeds or seedlings were observed. Seed biomass in Albufereta was relatively lower in the production period of 2016-2017 compared to 2017-2018, and higher compared to the only time were seeds appeared in Tabarca. The different reproductive strategies between times and locations could be due to both exogenous and endogenous factors. Improving and continuing this project will help to understand more conclusively the reproductive dynamics of *C. nodosa* meadows in the province of Alicante.

**Keywords:** *Cymodocea nodosa*; reproduction; seed production; seed size; seed bank.

## Índice

1. INTRODUCCIÓN .....	6
1.1. Aspectos generales de la especie .....	6
1.2. Dinámica reproductora .....	8
1.3. Antecedentes .....	10
1.4. Importancia de su estudio .....	11
1.5. Objetivos e hipótesis .....	12
2. MATERIAL Y MÉTODOS.....	13
2.1. Área de estudio .....	13
2.2. Metodología de muestreo .....	15
2.2.1. Caracterización previa de las praderas .....	15
2.2.2. Descripción de la dinámica reproductora.....	15
2.3. Análisis de los datos .....	16
2.3.1. Análisis estadístico.....	16
2.3.2. Análisis descriptivo.....	17
3. RESULTADOS .....	18
3.1. Caracterización previa de las praderas .....	18
3.1.1. Cobertura.....	18
3.1.2. Densidad de haces .....	19
3.2. Descripción de la dinámica reproductora .....	20
3.2.1. Densidad de semillas.....	20
3.2.2. Morfometría de semillas .....	22
3.2.3. Biomasa de semillas.....	22
3.2.4. Frutos, semillas germinadas y plántulas.....	25
4. DISCUSIÓN .....	25
5. CONCLUSIÓN.....	30
6. BIBLIOGRAFÍA .....	31
7. ANEXO .....	37
7.1. Cronograma .....	37

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Aspectos generales de la especie

Las fanerógamas marinas, distribuidas por todo el litoral excepto en el océano Antártico (Green y Frederick, 2003), presentan funciones ecológicamente relevantes para el medio marino, tales como: una alta contribución a la conservación del litoral y a la producción primaria del océano y, por tanto, a la producción primaria neta total (12% estimado), así como un aumento de la complejidad de hábitat y de la cadena trófica (Duarte y Sand-Jensen, 1990; Orth *et al.*, 2000; Barberá *et al.*, 2005). En la cuenca mediterránea, las fanerógamas marinas presentan un papel ecológicamente relevante, donde destacan las especies *Posidonia oceanica* y *Cymodocea nodosa*. Por su extensión, *C. nodosa* es la segunda fanerógama dominante en el Mediterráneo (Sandoval-Gil *et al.*, 2012). A pesar de ello, existe un claro desconocimiento sobre la ecología y reproducción de esta especie.

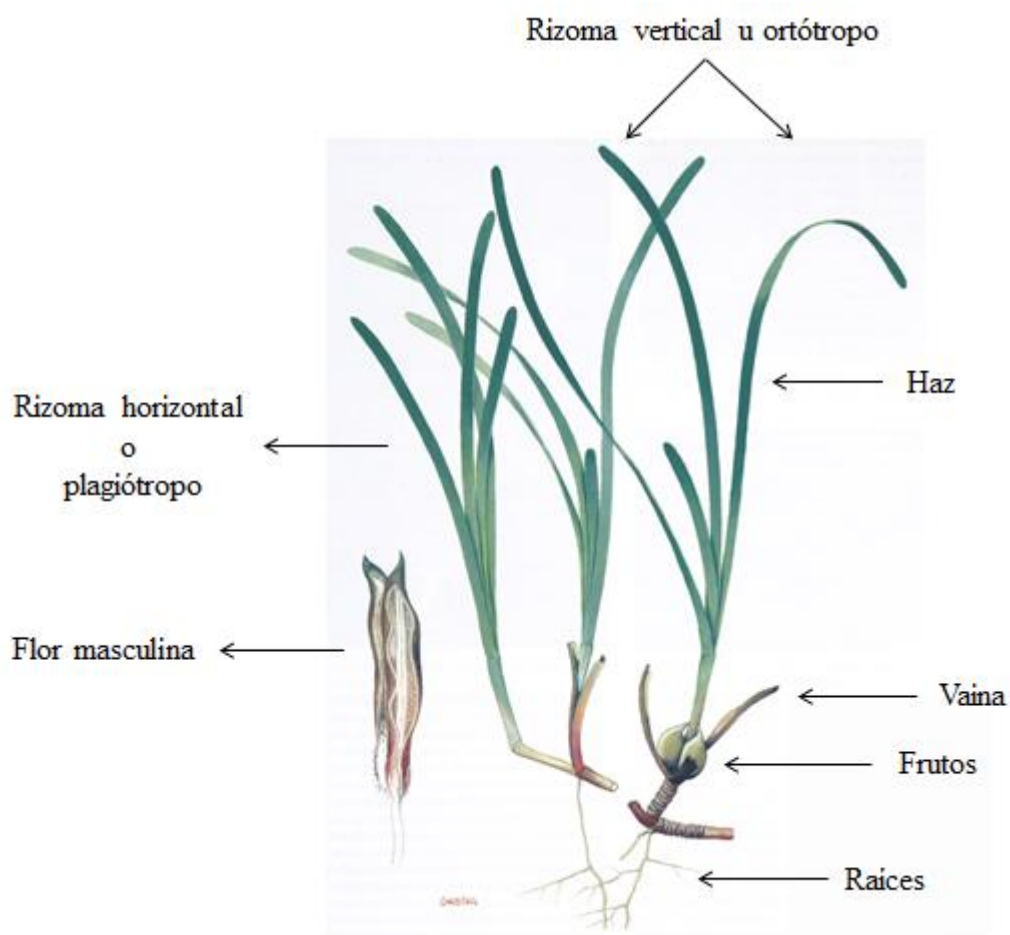
*Cymodocea nodosa* es una especie de afinidad tropical que se encuentra distribuida por el infralitoral del Mediterráneo y del Atlántico nororiental, desde el sur de Portugal hasta Senegal, incluyendo las Islas Canarias y Madeira (Figura 1; Reyes *et al.*, 1995; Alberto *et al.*, 2005; Boudouresque *et al.*, 2009). A diferencia de *P. oceanica*, esta especie presenta una plasticidad morfológica y fisiológica que le permite habitar en un amplio rango de condiciones ambientales (Sandoval-Gil *et al.*, 2012 y 2014), lo que junto su crecimiento y reproducción marcadamente estacional (Mascaró *et al.*, 2014) hace que sus praderas sean dinámicas y fluctuantes en el tiempo y espacio.



**Figura 1.** Distribución de la especie *C. nodosa* en el mar Mediterráneo y el océano Atlántico. Imagen de Espino *et al.* (2008).



Esta planta presenta un tamaño intermedio en comparación al resto de fanerógamas marinas, y mucho menor con respecto a la predominante en el Mediterráneo, *P. oceanica* (Marbà y Duarte, 1998). Se trata de una especie dioica, por lo que presenta individuos masculinos y femeninos diferenciados. La flor masculina se encuentra cargada de polen hidrofílico, mientras que la femenina presenta dos ovarios con un óvulo cada uno. Tras la fecundación se producen dos frutos por flor. Estos son de color claro y de aspecto carnosos, aplanados, con lados ovalados de manera desigual y ápice puntiagudo. Una vez se desprenden, el pericarpio se descompone y surge la semilla, de mayor dureza y aspecto más compacto, que germina y da lugar al embrión (Figura 2; Ackerman, 2007).

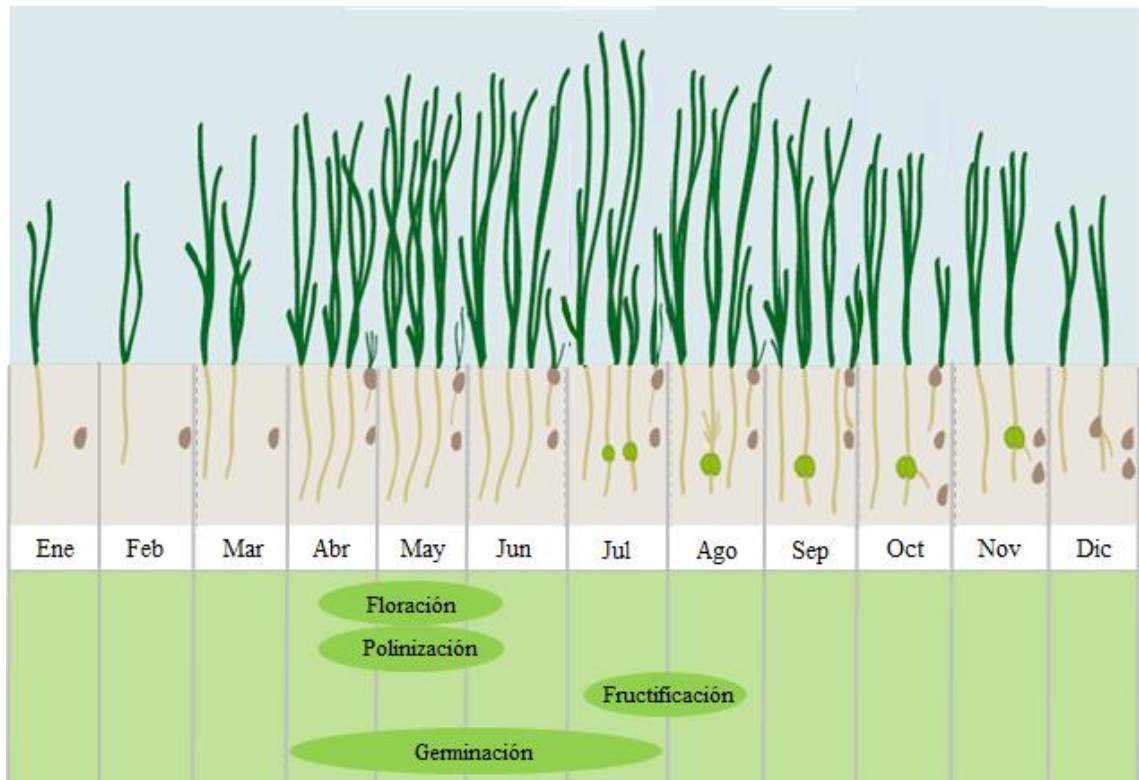


**Figura 2.** Esquema de las distintas partes de *Cymodocea nodosa*. Planta femenina con frutos a la derecha. Imagen modificada de Marbà *et al.* (2004b).

## 1.2. Dinámica reproductora

Análogamente al resto de fanerógamas marinas, *C. nodosa* presenta tanto reproducción asexual como sexual (Calvo *et al.*, 2006). Su vía principal de proliferación es el crecimiento clónico, que ocurre gracias a la elongación del rizoma horizontal, del cual surgen nuevos haces y raíces, produciendo así módulos genéticamente idénticos. Ocasionalmente, el rizoma vertical cambia de sentido y realiza esta misma labor (Caye y Meinesz, 1985; Smith *et al.*, 2016). Debido a las características de *C. nodosa*, la función de este método de reproducción es la de mantener y extender la población a escala local (Paulo *et al.*, 2016). En comparación con otras fanerógamas, su crecimiento vegetativo es rápido (2 m/año) y plástico, pudiendo llegar a formar una pradera en una década (Marbà *et al.*, 2004a; Sandoval-Gil *et al.*, 2014). De igual manera, es capaz de colonizar espacios previamente perturbados en periodos de tiempo cortos, salvo cuando dicho espacio es mayor a su tasa de expansión (Cancemi *et al.*, 2002; Olesen *et al.*, 2004; Rasheed, 2004). Asimismo, se la considera pionera en el Mediterráneo ya que suele ocupar los claros que deja *P. oceanica*, de crecimiento mucho más lento (Buia y Mazzella, 1991; Olesen *et al.*, 2002).

La reproducción sexual mejora la capacidad de adaptación de las especies (Balestri y Cinelli, 2002; Calvo *et al.*, 2006; Dos Santos y Matheson, 2017), lo que influye en la salud y resiliencia de estas poblaciones (McDonald *et al.*, 2016; Smith *et al.*, 2016). Esta reproducción se caracteriza por el proceso de floración y la producción de frutos y semillas (Marbà y Walker, 1999), que se desarrollan cuando las condiciones ambientales son adecuadas (Buia y Mazella, 1991). La floración de *C. nodosa* sucede en primavera, generalmente durante los meses de abril-mayo. Sus frutos requieren 2-3 meses de desarrollo, llegando a la completa madurez en otoño. En este caso, algunos estudios muestran diferencias entre los meses de fructificación del Mediterráneo occidental (julio-agosto) y El Médano (Tenerife; mayo-junio), relacionadas con las características ambientales de cada localización. Una vez el fruto se desprende, las semillas quedan enterradas en el sedimento, hasta germinar en la primavera (abril-julio) del año siguiente (Figura 3; Buia y Mazella, 1991; Reyes *et al.*, 1995; Ramage y Schiel, 1998; Marbà *et al.*, 2004a; Balestri *et al.*, 2010).



**Figura 3.** Ciclo general anual de *C. nodosa* en el Mediterráneo. Imagen modificada de Espino *et al.* (2008).

Como se ha establecido anteriormente, esta especie es dioica, por lo que sus órganos reproductores masculinos y femeninos se encuentran en plantas individuales (Figura 2). Sus praderas pueden estar constituidas por individuos de un solo sexo o de ambos (con sus rizomas entrelazados; Terrados, 1993). El proceso de floración de esta especie ocurre en individuos de igual o más de un año de edad (dispuestos de manera continuada), por lo que las flores suelen encontrarse agrupadas (Paulo *et al.*, 2016). Este proceso sucede anualmente, llegando a producir 226 flores/m<sup>2</sup> en las praderas más densas (Caye y Meniesz, 1985). Además, Marbà *et al.* (2004b) afirma que un mismo vástago puede desarrollar flores durante varios años consecutivos.

Las semillas producidas contribuyen a la dispersión y el flujo de genes (Smith *et al.*, 2016). Las características de *C. nodosa* la convierten en apta para la formación del denominado “banco de semillas”, limitando así su dispersión (Alberto *et al.*, 2008; Bell *et al.*, 2008). El desarrollo de los frutos en la base de la planta y la alta densidad de sus semillas facilitan el enterramiento de estas bajo el sedimento (Reyes *et al.*, 1995). Las semillas quedan en estado latente durante unos 7-9 meses, en los que siguen siendo viables (Figuras 2 y 3; Reyes *et al.*, 1995; Rasheed, 2004). Como dichas semillas son de

mayor densidad que el agua, su dispersión depende de factores hidrodinámicos de alta energía (Terrados, 1993; Rasheed, 2004; Smith *et al.*, 2016).

Por otra parte, la germinación de esta especie no es habitual, independientemente de la tasa de producción de frutos, como indican algunos estudios en el Mediterráneo occidental (Caye y Meinesz, 1985; Caye *et al.*, 1992) y en El Médano (Reyes *et al.*, 1995). De aquellas que germinan, únicamente sobreviven 10-20% de las plántulas (Orth *et al.*, 2007). Aun siendo limitada, se ha demostrado que el rol de la reproducción sexual de *C. nodosa* es importante para el mantenimiento anual de las praderas establecidas, la colonización de nuevas áreas y su recuperación en espacios perturbados, viéndose favorecida por la adquisición de nuevos genotipos (Lokker *et al.*, 1997; Kenworthy, 1999; Balestri y Cinelli, 2002; Orth *et al.*, 2007; Smith *et al.*, 2016).

El esfuerzo y el éxito reproductivo de *C. nodosa* es sensible a factores endógenos y exógenos (Mascaró *et al.*, 2014). Algunos estudios observaron que la tasa de reproducción asexual dependía de la densidad y la edad de la pradera de esta especie (Vidondo *et al.*, 1997), así como la disponibilidad de recursos de la zona (Marbà y Duarte, 1998). Otros muestran variaciones según la localización geográfica, con una mayor contribución de la reproducción sexual en las Islas Canarias (Reyes *et al.*, 1995; Alberto *et al.*, 2006) que en el Mediterráneo occidental (Buia y Mazzella, 1991; Terrados, 1993). La energía invertida en la reproducción sexual depende también de las condiciones hidrodinámicas y de irradiancia (Paulo *et al.*, 2016) y del sexo de las praderas (Balestri y Lardicci, 2012). Asimismo, se observó que el éxito de germinación y supervivencia de plántulas dependía de las condiciones de temperatura y salinidad (Caye y Meinesz, 1985), disponibilidad de nutrientes (Balestri *et al.*, 2010) y de las adaptaciones genéticas de la pradera (Smith *et al.*, 2016).

### 1.3. Antecedentes

Las praderas de *Cymodocea nodosa* desempeñan funciones ecológicas relevantes en toda su distribución. Pese a ello, los estudios centrados en su dinámica reproductora y, en concreto, en la reproducción sexual, son limitados.

Debido a su amplia tolerancia ambiental, las investigaciones realizadas sobre *C. nodosa* en este ámbito no suelen mostrar una descripción general, sino concreta para las diferentes localizaciones analizadas. Se han realizado varios estudios a lo largo de su distribución en el océano Atlántico, aunque la mayoría se centran en las de las Islas

Canarias, por su interés como contribuyentes a la producción primaria de la zona (Alberto *et al.*, 2006). Por otra parte, las publicaciones en el Mediterráneo son limitadas. La mayoría se encuentran en los países del norte, mientras que el desconocimiento en la parte occidental es evidente. Concretamente, la reproducción sexual de esta especie es particularmente desconocida en la provincia de Alicante.

Con la finalidad de comprender el funcionamiento de la reproducción sexual en distintos ambientes, los estudios se centraron tanto en la floración de esta especie como en su estructura genética, así como en la ecología de sus frutos y semillas. Se han realizado diversos estudios al respecto tales como: el rol de las semillas de *C. nodosa* (Terrados, 1993; Alberto *et al.*, 2005); las características necesarias para su germinación (Caye y Meinesz, 1985; Caye *et al.*, 1992; Reyes *et al.*, 1995); la densidad del banco de semillas (Terrados, 1993; Reyes *et al.*, 1995) y si esta y la profundidad a la que se encuentren afecta a la supervivencia de las plántulas (Balestri *et al.*, 2010; Paulo *et al.*, 2016); además del desarrollo de mejores metodologías de cultivo *in vitro* y trasplante para la restauración de la especie (Zarranz *et al.*, 2010a y 2010b).

#### **1.4. Importancia de su estudio**

Conocer la reproducción de las fanerógamas marinas permite comprender su estado y resiliencia y, por tanto, su posible evolución y recuperación (Marbà y Walker, 1999; Balestri *et al.*, 2010; Kendrick *et al.*, 2017). La continua regresión de estas praderas (actualmente un 30-40% en el Mediterráneo; Procaccini *et al.*, 2003; Marbà *et al.*, 2014) obliga a aumentar el esfuerzo sobre el estudio de su funcionamiento. Aun así, este sigue siendo un campo bastante desconocido para dichas especies. Pese a su resistencia frente al estrés ambiental, algunas evidencias muestran la degradación de praderas de *C. nodosa* (Cabaço *et al.*, 2010; Balestri y Lardicci, 2012; Garrido *et al.*, 2013). Estas son consideradas, en términos de la Directiva Marco Europea del Agua (DMA), buenas indicadoras de calidad del agua debido a su rápida respuesta a distintos niveles de estrés, ya sea por causas naturales o antropogénicas (Orfanidis *et al.*, 2010; Olivia *et al.*, 2012). Además, también presentan carácter estructurador, y ayudan al establecimiento de *P. oceanica*, especie clímax del Mediterráneo (Infantes *et al.*, 2011). Por todo ello, su conservación y recuperación son primordiales para la sostenibilidad del ecosistema.

La mayoría de los esfuerzos de los proyectos de conservación y restauración se han centrado en los trasplantes de plantas adultas (Balestri y Lardicci, 2012), opción que

recientemente ha sido desestimada debido a su baja efectividad y al daño que provoca en las praderas donantes (Wang *et al.*, 2016). Las nuevas propuestas se centran en los mecanismos de reproducción sexual, cuyos resultados son más convincentes por su efectividad, aumento de la diversidad genética y sostenibilidad ecológica (Elma, 2011; Balestri y Lardicci, 2012). Como se ha explicado antes, el banco de semillas es considerado como medida de resiliencia después de una perturbación, por lo que los esfuerzos de conservación y restauración deberían estar centrados en la ecología de estos bancos y sus semillas.

Como ya se ha destacado, el comportamiento de las praderas de *Cymodocea nodosa* varía según las características del medio en el que habita. Por ello, es importante estudiar las distintas regiones en las que se encuentra distribuida. El desconocimiento existente en la provincia de Alicante hace más interesante el presente estudio, centrado en la dinámica reproductora de dichas praderas.

### **1.5. Objetivos e hipótesis**

En el presente trabajo se estudia la dinámica reproductora de las praderas de *Cymodocea nodosa* en distintas localidades de la provincia de Alicante y su evolución durante casi dos años. Los objetivos específicos son:

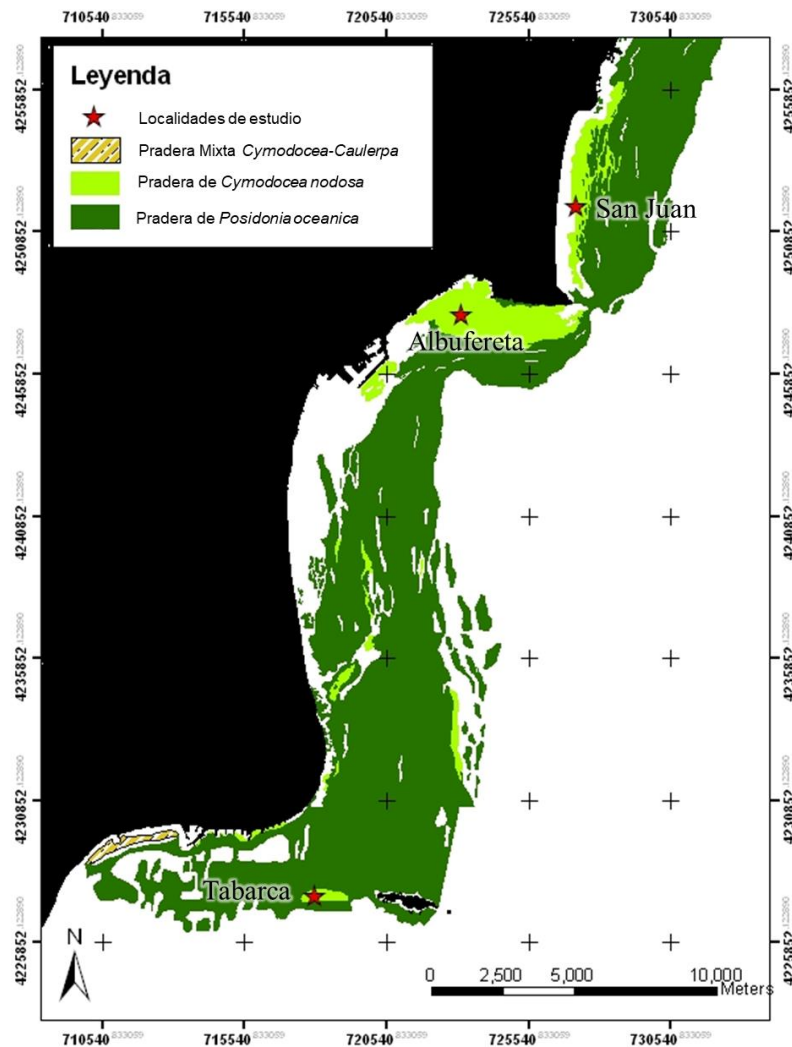
- Analizar la variabilidad espacial y temporal de la producción de semillas de estas praderas.
- Comparar el tamaño de las semillas según la localidad de las praderas y el tiempo.
- Examinar los procesos de fructificación, germinación y desarrollo de plántulas.

La hipótesis de este trabajo es que la producción y tamaño de las semillas varían entre las distintas praderas analizadas y entre los distintos tiempos estudiados.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1. Área de estudio

El muestreo se llevó a cabo en tres localidades de la provincia de Alicante: la Albufereta, San Juan y Tabarca. Las praderas escogidas presentan distintas características en base a las condiciones ambientales de cada una de las zonas en las que se encuentran (Figura 4).



**Figura 4.** Mapa de la situación de los puntos de muestreo de las tres localidades de estudio, junto a las praderas asociadas.



El punto de muestreo de la Albufereta se sitúa en 38°21'00.5"N 0°26'49.1"O, a una profundidad de 10.5 m (Figura 5A). Al ubicarse en el sur del Cabo de las Huertas, se encuentra protegido de los vientos, del mar de fondo y de los temporales (De Juan, 2009). Por ello, se trata del punto de muestreo con menor hidrodinamismo y mayor estabilidad de los tres. Por otra parte, el sustrato es de composición areno-fangosa, característica que no comparten el resto de localizaciones (Gimeno-Monforte, 2017). El área ocupada por la pradera de la Albufereta es de 734 Ha, convirtiéndola en la mayor de las tres localizaciones. Asimismo, esta posee una variabilidad genética elevada, tal y como se detectó en estudios previos dentro del mismo proyecto al que pertenece este trabajo (Tuya *et al.*, *in prep*).

La pradera muestreada de San Juan se sitúa en el norte del Cabo de las Huertas, concretamente en 38°22'59.5"N 0°23'59.8"O, a una profundidad de 9.5 m (Figura 5B). Debido a la morfología de la costa, se trata de la localización más expuesta a las condiciones climatológicas (Tros-de-Llarduya, 2005), lo que la convierte en la localización con mayor hidrodinamismo de las tres. El sustrato está compuesto por sedimento de tamaño medio-fino (Gimeno-Monforte, 2017). Esta pradera ocupa 380 Ha y presenta una variabilidad genética pobre (Tuya *et al.*, *in prep*).

La tercera localidad se encuentra próxima a la Reserva Marina de Tabarca, concretamente en 38°10'02.3"N 0°30'43.9"O, a una profundidad de 12 m (Figura 5C). Esta pradera presenta una exposición media gracias a la protección que supone la propia isla y la gran envergadura de las praderas de *P. oceanica* cercanas a ella (Tros-de-Llarduya, 2005). La granulometría del sedimento al que se ancla esta pradera presenta un valor intermedio con respecto a las otras dos localidades de estudio (Gimeno-Monforte, 2017). Se trata de la pradera de menor extensión (61 Ha) y con variabilidad genética intermedia en comparación con las dos anteriores (Tuya *et al.*, *in prep*).



**Figura 5.** Praderas estudiadas en las localidades de la Albufereta (A), San Juan (B) y Tabarca (C). Imágenes realizadas por el equipo de investigadoras e investigadores durante el muestreo.



## 2.2. Metodología de muestreo

Las muestras fueron obtenidas por investigadoras e investigadores del Departamento de Ciencias del Mar y Biología Aplicada de la Universidad de Alicante, dentro del proyecto del Plan Nacional “Compresión holística del funcionamiento y resiliencia de una fanerógama marina a perturbaciones locales: de escalas moleculares a escalas biogeográficas” (RESIGRASS, CGL2014-58829-C2-1-R). Todas ellas se tomaron empleando equipos de buceo autónomo en las 3 localidades descritas. Con la finalidad de recoger parte de la variabilidad temporal, la toma de datos se realizó a lo largo de 6 tiempos durante casi 2 años. Las muestras recogidas se procesaron en el laboratorio del mismo departamento.

### 2.2.1. Caracterización previa de las praderas

Se tomaron medidas de las siguientes variables con el fin de conocer las características de las praderas de las distintas localidades estudiadas:

- Para la **cobertura** o superficie de sustrato que ocupa *Cymodocea* (%), se utilizó un cuadrado de 100x100 cm. Se tomaron 20 réplicas al azar por cada localidad y tiempo.
- La **densidad** de haces se obtuvo mediante un cuadrado de 20x20 cm, en el que se contaba el número de haces presente. Se realizaron 10 réplicas al azar por cada localidad y tiempo. Los datos obtenidos se extrapolaron a 1 m<sup>2</sup> de superficie.

### 2.2.2. Descripción de la dinámica reproductora

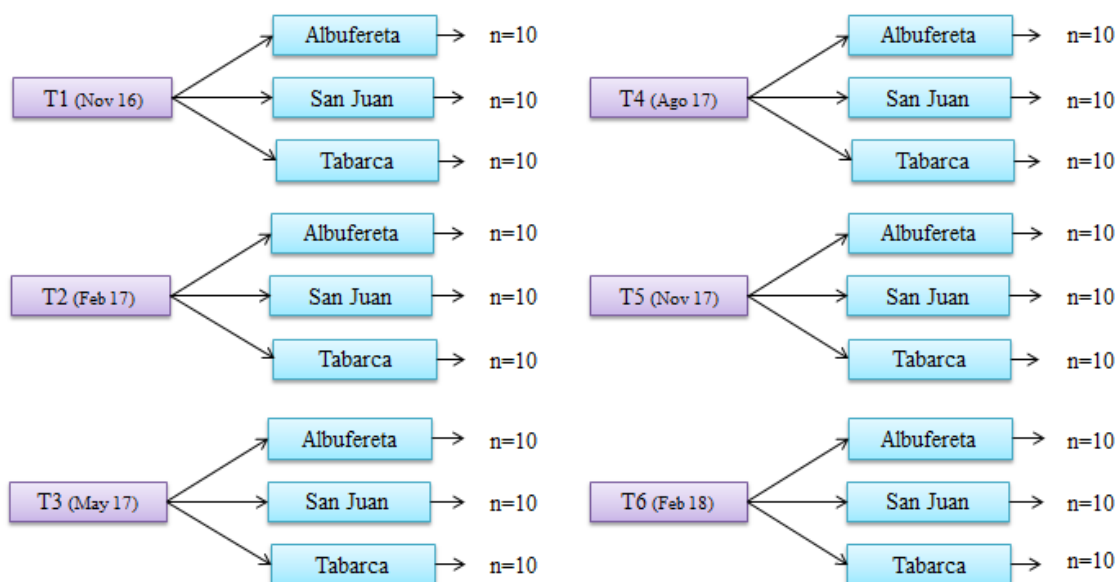
Para el estudio de las semillas y frutos de dichas praderas, se tomaron 10 muestras por cada localidad y tiempo. Se recogieron mediante la inserción de un corer de 20 cm de diámetro hasta una profundidad de 30-40 cm (según la zona). Las muestras se procesaron posteriormente en el laboratorio. De cada una de ellas se separaron frutos y semillas y, en el caso de estas últimas, se observó si estaban germinadas y si se había desarrollado alguna plántula. Se tomó nota de las siguientes medidas:

- **Número** de semillas y frutos por cada muestra. Posteriormente se extrapoló a 1 m<sup>2</sup> de superficie.
- **Longitud, anchura y grosor** (mm) de cada semilla en húmedo, mediante un calibre.
- **Biomasa** de las semillas (mg). Se secaron en la estufa a 80°C durante 48h, obteniendo así su peso seco.

## 2.3. Análisis de los datos

### 2.3.1. Análisis estadístico

El diseño experimental consiste en dos factores, tiempo y localidad, ambos fijos y ortogonales. El factor tiempo está compuesto por 6 niveles: T1, T2, T3, T4, T5 y T6, que corresponden a los meses de noviembre de 2016; febrero, mayo, agosto y noviembre de 2017; y febrero de 2018. El factor localidad presenta 3 niveles: Albufereta, San Juan y Tabarca. El número de réplicas realizadas para cada uno de estos niveles depende de la variable a estudiar: para cobertura n=20, mientras que para densidad de haces y de semillas n=10 (Figura 6).



**Figura 6.** Esquema del diseño seguido para el muestreo de *C. nodosa* en el presente estudio.

Para estudiar la densidad de haces, cobertura y densidad de semillas por localidad y tiempo se realizaron, por separado, análisis de varianzas (ANOVA) de dos factores, con un nivel de significación de 0.05. Previamente se comprobó la homogeneidad de

varianzas mediante el test de Cochran, y en caso de encontrar diferencias significativas se realizaron las transformaciones pertinentes. Si dichas transformaciones no eran suficientes para conseguir que las varianzas fueran homogéneas, se disminuyó el valor de alfa a 0.01. Al tratarse de un diseño balanceado con más de 30 réplicas, fue posible realizar ANOVA sin necesidad de que siguiera una distribución normal. El modelo lineal utilizado para el análisis fue el siguiente:

$$X_{ijn} = \mu + L_i + T_j + L \times T_{ij} + \text{Residual}_{n(ij)}$$

donde  $X_{ijn}$  representa las distintas variables,  $\mu$  la media de todas las muestras,  $L_i$  el efecto de la localidad y sus niveles,  $T_j$  el efecto del tiempo y sus niveles,  $L \times T_{ij}$  la interacción entre ambos factores y sus niveles, y  $\text{Residual}_{n(ij)}$  la variabilidad aleatoria entre las muestras.

Una vez realizado el análisis de varianzas, y en caso de que la interacción o alguno de los factores individuales fueran significativos, se buscaron las diferencias específicas entre los niveles de ambos factores. Para ello se realizó una comparación múltiple *a posteriori* mediante el test Student-Newman-Keuls (SNK). El análisis estadístico y las distintas representaciones gráficas se realizaron con el software R.

### 2.3.2. Análisis descriptivo

Se utilizaron los parámetros biométricos de longitud, anchura y grosor para comparar los resultados obtenidos de la morfometría de semillas con los datos recopilados en otras investigaciones. Para estudiar la distribución de tamaños en las localidades estudiadas se utilizó la biomasa, descriptor que integra los parámetros anteriores (Smith *et al.*, 2016), únicamente para aquellas muestras con datos suficientes como para poder ser estudiados. Se realizó el test de Kolmogorov-Smirnov (ks) para analizar la distribución normal de los datos. Ante la falta de normalidad y de homogeneidad de varianzas, y al no estar balanceados, no se realizó ningún análisis estadístico que comparara los distintos grupos representados. Por ello, finalmente se realizaron histogramas donde se interpretó el comportamiento de las semillas de manera descriptiva. Las distintas representaciones gráficas se realizaron con el software R.

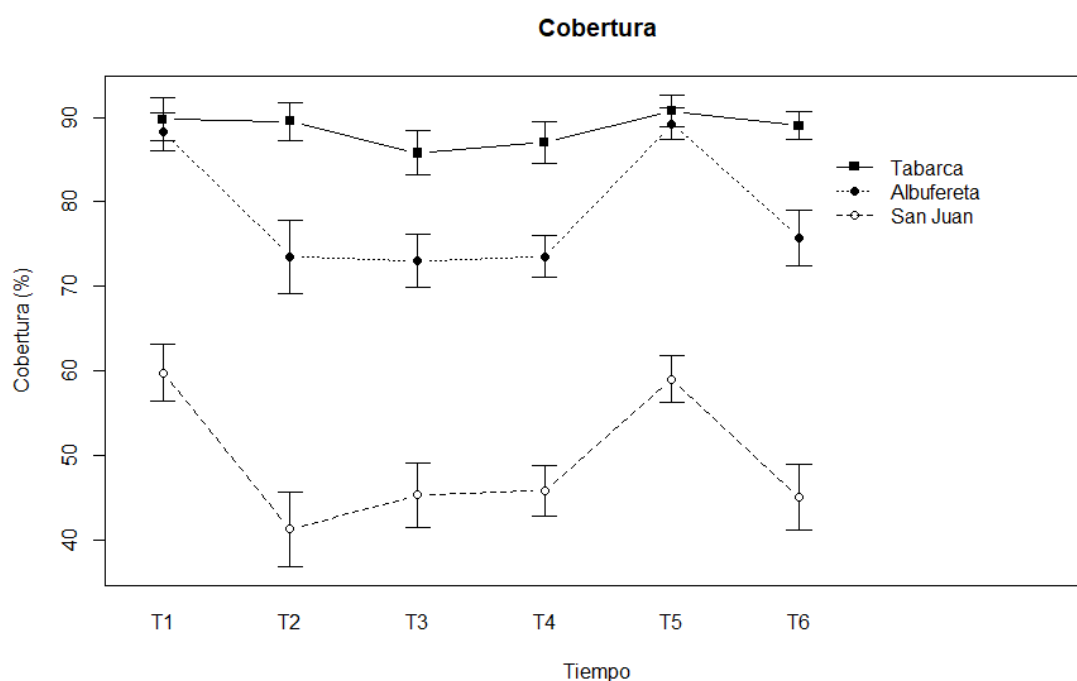
Por otra parte, no se realizó ningún análisis para los datos obtenidos sobre frutos, al no aparecer suficientes como para poder ser estudiados.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Caracterización previa de las praderas

##### 3.1.1. Cobertura

El análisis realizado para la cobertura no muestra diferencias significativas entre los distintos tiempos, a excepción de los meses de noviembre de 2016 y de 2017, que difieren del resto al presentar valores más altos de esta variable. Dicha diferencia es observable principalmente en las localidades de la Albufereta y San Juan. Por otra parte, se encontraron diferencias significativas entre las distintas localidades, siendo Tabarca la que presenta porcentajes más altos y estables (85.8-90.8%), seguida de la Albufereta con 73-89.8%. La pradera de San Juan es la que menor cobertura ocupa de las tres localidades, siendo su mínimo 41.3% y su máximo 59.8% (Tabla 1; Figura 7).



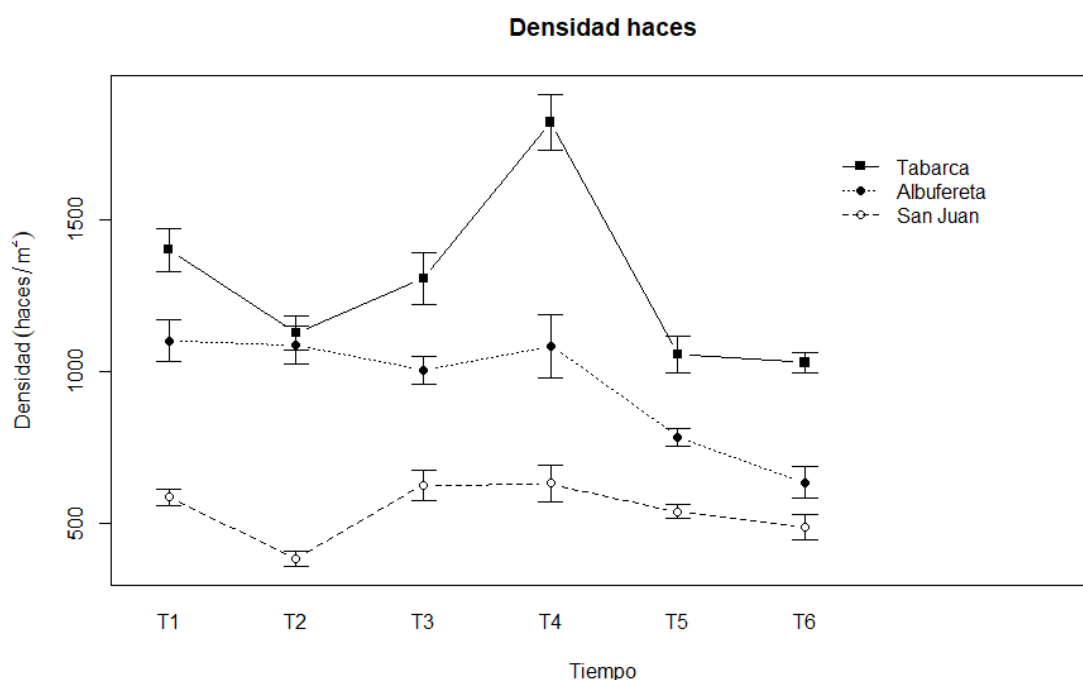
**Figura 7.** Representación de los valores medios de cobertura (%) de *C. nodosa* a lo largo de seis tiempos para cada una de las localidades estudiadas. T1 = Noviembre 2016; T2 = Febrero 2017; T3 = Mayo 2017; T4 = Agosto 2017; T5 = Noviembre 2017; T6 = Febrero 2018. En cada valor medio aparece la desviación estándar.

**Tabla 1.** Resumen del ANOVA realizado para la cobertura de *C. nodosa* para los seis tiempos y las tres localidades estudiadas. L = Localidad; T = Tiempo; G.l. = Grados de libertad; C.M. = Cuadrados Medios;  $\alpha=0.01$ .

Variable	Fuente de variación	G.l.	C.M.	F	P-valor	F-versus
Cobertura	$L_i$	2	50232	277.9725	$<2.2 \times 10^{-16}$	Residual
	$T_j$	5	1885	10.4336	$2.482 \times 10^{-9}$	Residual
	$L \times T_{ij}$	10	319	1.7643	0.06592	Residual
	$Residual_{n(ij)}$	342	181			

### 3.1.2. Densidad de haces

La densidad de haces de las praderas de *C. nodosa* muestra diferencias significativas entre tiempos, localidades y la interacción de los mismos. Tabarca presenta, en general, el mayor número de haces por metro cuadrado de las tres. Su máximo se encuentra en agosto con 1820 haces/m<sup>2</sup>, y se trata del único valor significativamente distinto al resto en esta localidad. Los dos tiempos siguientes (noviembre de 2017 y febrero de 2018) muestran un descenso notable, disminuyendo un total de 792 haces/m<sup>2</sup> con respecto a su valor máximo. El desarrollo de esta variable en la Albufereta es más o menos estable para los tiempos comprendidos entre noviembre de 2016 y agosto de 2017 (1002-1100 haces/m<sup>2</sup>). Sin embargo, los dos últimos tiempos muestran un descenso significativo con respecto al resto, llegando a su valor mínimo en el mes de febrero de 2018 (632 haces/m<sup>2</sup>). Por último, la pradera de San Juan presenta los valores de densidad más bajos en comparación con las otras localidades estudiadas, llegando a un mínimo significativo de 382 haces/m<sup>2</sup> en febrero de 2017. Sin embargo, en comparación con el resto de localidades, se trata del descenso de densidad menos acusado (disminución de 243 haces/m<sup>2</sup>) en función al resto de tiempos, que se mantienen en un rango más o menos estable (482-625 haces/m<sup>2</sup>; Tabla 2; Figura 8).



**Figura 8.** Representación de los valores medios de densidad (haces/m<sup>2</sup>) de *C. nodosa* a lo largo de seis tiempos para cada una de las localidades estudiadas. T1 = Noviembre 2016; T2 = Febrero 2017; T3 = Mayo 2017; T4 = Agosto 2017; T5 = Noviembre 2017; T6 = Febrero 2018. En cada valor medio aparece la desviación estándar.

**Tabla 2.** Resumen del ANOVA realizado para la densidad de haces de *C. nodosa* para los seis tiempos y las tres localidades estudiadas. L = Localidad; T = Tiempo; G.l. = Grados de libertad; C.M. = Cuadrados Medios;  $\alpha=0.05$ .

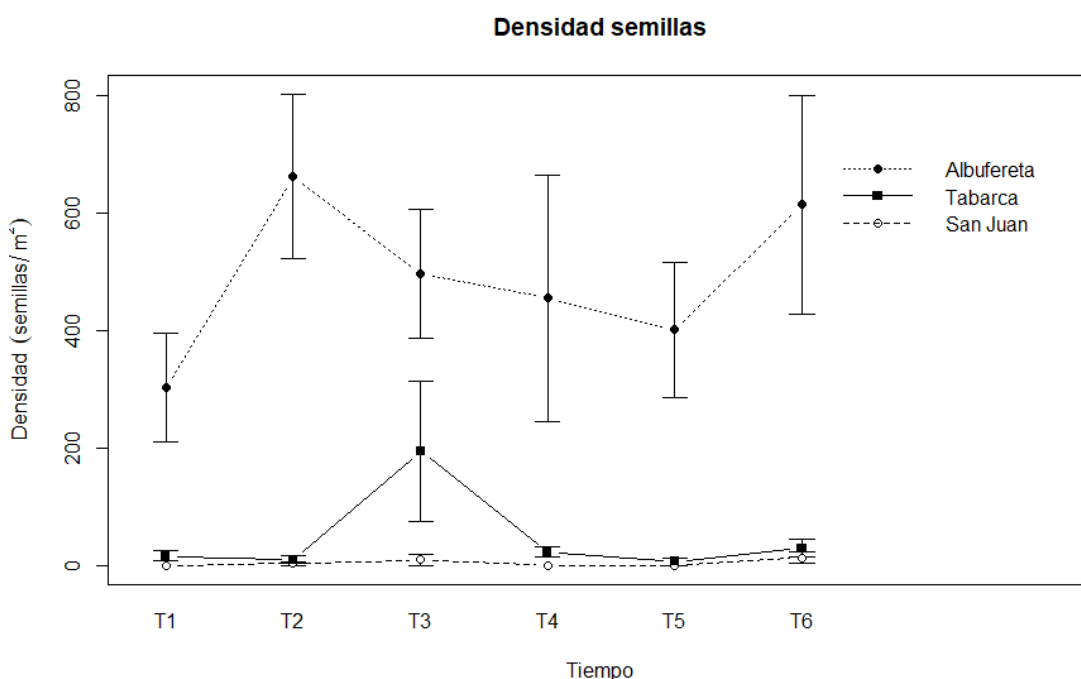
Variable	Fuente de variación	G.l.	C.M.	F	P-valor	F-versus
Densidad	L <sub>i</sub>	2	11.7222	278.9336	$<2.2 \times 10^{-16}$	Residual
	T <sub>j</sub>	5	0.8590	20.4406	$8.642 \times 10^{-16}$	Residual
	LxT <sub>ij</sub>	10	0.2352	5.5974	$3.698 \times 10^{-7}$	Residual
	Residual <sub>n(ij)</sub>	162	0.0420			

## 3.2. Descripción de la dinámica reproductora

### 3.2.1. Densidad de semillas

La dispersión de los valores de esta variable con respecto a su media es alta. No se observaron diferencias significativas con respecto a la densidad de semillas entre los distintos tiempos, pero sí entre las localidades estudiadas. En San Juan se encontró un número muy bajo de semillas por metro cuadrado (su máximo fue de 13 semillas/m<sup>2</sup>). Los valores de Tabarca siguen una línea temporal similar a la de San Juan, excepto para

mayo de 2017, donde la densidad es mayor (194 semillas/m<sup>2</sup>). Por otro lado, la localidad de la Albufereta se diferencia significativamente del resto al presentar valores más altos de esta variable. En este caso, aunque no se detectan diferencias significativas entre muestreos, se observa un patrón temporal cuyos máximos y mínimos se encuentran en los meses de febrero y noviembre, respectivamente. De noviembre de 2016 a febrero de 2017 se da un aumento de 360 semillas/m<sup>2</sup>, llegando a su máximo de densidad (de 663 semillas/m<sup>2</sup>). Posteriormente, se produce una disminución continuada hasta llegar en noviembre de 2017 a 401 semillas/m<sup>2</sup>. Finalmente, se observa un aumento de 214 semillas/m<sup>2</sup>, obteniendo un total de 615 semillas/m<sup>2</sup> en el último tiempo, febrero del 2018 (Tabla 3; Figura 9).



**Figura 9.** Representación de los valores medios de densidad (semillas/m<sup>2</sup>) de *C. nodosa* a lo largo de seis tiempos para cada una de las localidades estudiadas. T1 = Noviembre 2016; T2 = Febrero 2017; T3 = Mayo 2017; T4 = Agosto 2017; T5 = Noviembre 2017; T6 = Febrero 2018. En cada valor medio aparece la desviación estándar.

**Tabla 3.** Resumen del ANOVA realizado para la densidad de semillas de *C. nodosa* para los seis tiempos y las tres localidades estudiadas. L = Localidad; T = Tiempo; G.l. = Grados de libertad; C.M. = Cuadrados Medios;  $\alpha=0.01$ .

Variable	Fuente de variación	G.l.	C.M.	F	P-valor	F-versus
Densidad	$L_i$	2	4326154	52.8482	$<2 \times 10^{-16}$	Residual
	$T_j$	5	85355	1.0427	0.3945	Residual
	$L \times T_{ij}$	10	73669	0.8999	0.5347	Residual
	Residual $_{n(ij)}$	162	81860			

### 3.2.2. Morfometría de semillas

Se observa, en general, un mayor tamaño en las semillas de la Albufereta en comparación con el resto. Esta localidad también presenta el rango más amplio de cada variable. Por su parte, Tabarca presenta los valores medios más pequeños, así como un rango menor (Tabla 4).

**Tabla 4.** Resumen de los datos obtenidos para la longitud, anchura y grosor (mm) de las semillas de *C. nodosa* para las localidades y tiempos del estudio.

Localidad	Nº Semillas	Variable	Media	Desviación típica	Rango
Albufereta	731	Longitud	11.998	0.79487	8-13.5
		Anchura	7.508	0.63346	5-10
		Grosor	1.389	0.16105	0.8-2
Tabarca	61	Longitud	9.116	0.76663	6.8-11
		Anchura	6.944	0.74867	5.5-9.1
		Grosor	1.267	0.14227	1-1.6
San Juan	5	Longitud	10.700	0.56398	10-11.5
		Anchura	7.540	0.36469	7-8
		Grosor	1.318	0.21476	1-1.5

### 3.2.3. Biomasa de semillas

Como se ha indicado anteriormente, las diferencias observadas en cuanto a la biomasa de semillas son meramente descriptivas.

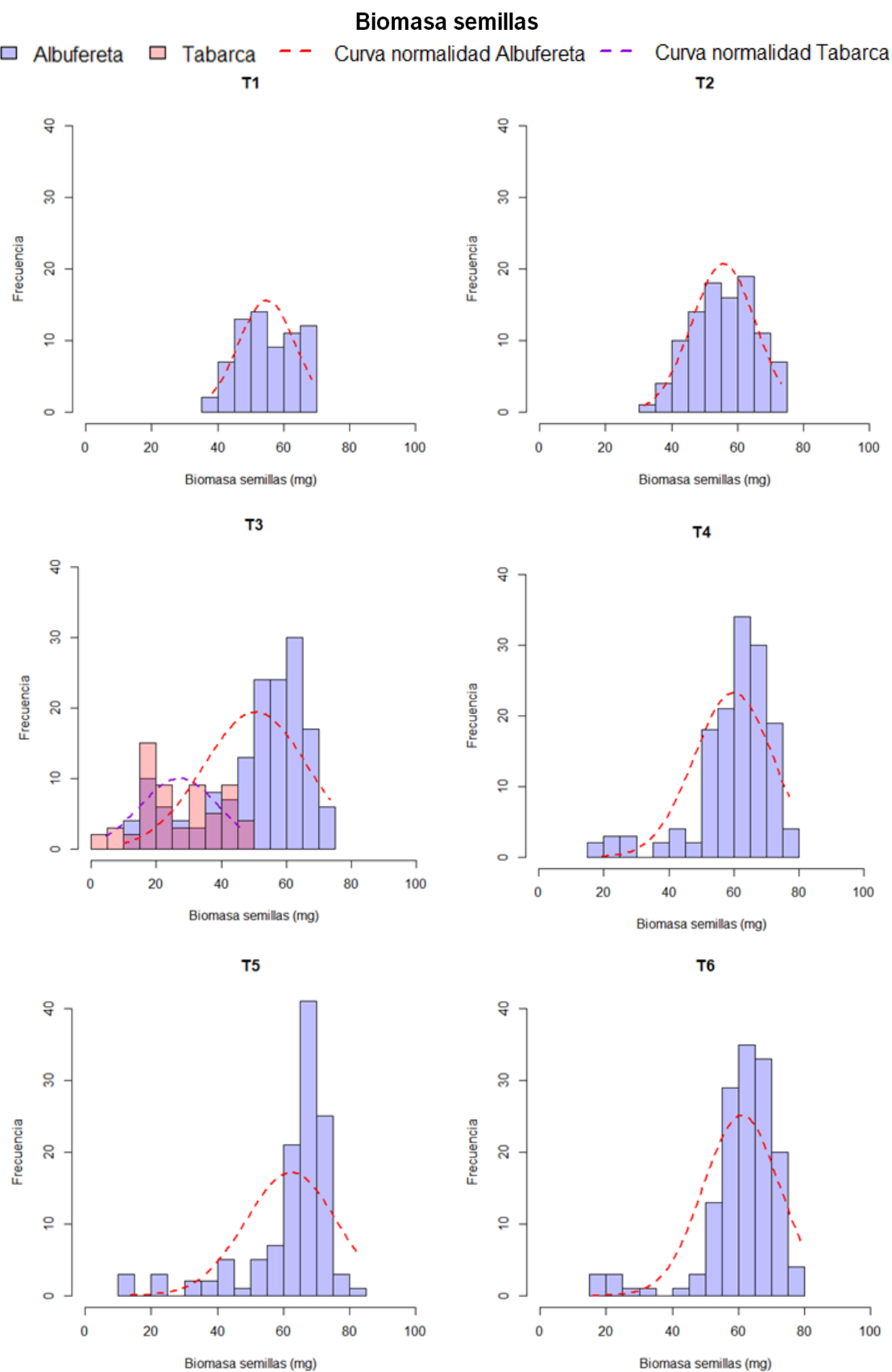
A lo largo de los seis tiempos, en la localidad de la Albufereta se puede observar un aumento continuo de la biomasa media (54.92 mg en el primer tiempo, 61.00 mg en el último), excepto para mayo de 2017 y febrero de 2018, que disminuyen con respecto al anterior tiempo. De estos seis tiempos, únicamente las semillas de noviembre de 2016 y 2017 siguen una distribución normal. Asimismo, a partir de mayo es posible observar



dos distribuciones distintas para cada tiempo, apareciendo aquellas con valores de biomasa más bajos con menor frecuencia (Tabla 5; Figura 10).

Los meses de noviembre y febrero difieren entre años. La dispersión de los datos es menor en los dos primeros tiempos con respecto a los últimos (35-70 y 30-75 mg frente a 10-85 y 15-80 mg, respectivamente). Por otra parte, el 75% de las semillas de noviembre de 2016 y febrero de 2017 son de 62.60-63.00 mg, mientras que en noviembre de 2017 y febrero de 2018 estas son 5-6 mg mayores, por lo que a pesar de que los tamaños de estas últimas son más variables, su distribución se inclina principalmente hacia biomásas mayores (Tabla 5; Figura 10).

Por último, aparte de la Albufereta, la localidad con semillas suficientes como para poder realizar comparaciones fue Tabarca, durante el mes de mayo. Tabarca es la única localidad en este tiempo que sigue una distribución normal. Por otra parte, la diferencia de biomasa entre ambas es visualmente clara, siendo el 75% de las semillas de Tabarca de menor tamaño que el 25% de las de la Albufereta para este mismo tiempo (36.10 mg frente a 42.75 mg, respectivamente). El peso de mayor frecuencia en las semillas de Tabarca es relativamente pequeño (15-20 mg). No obstante, aquellas semillas que se encuentran por encima de este valor son más habituales que las que se encuentran por debajo. En la Albufereta también aparecen cierto número de semillas de pequeño peso, pero su biomasa más frecuente está en la franja de 45-65 mg, siendo 65 mg la más común (Tabla 5; Figura 10).



**Figura 10.** Representación de la distribución de los valores de biomasa (mg) de las semillas de *C. nodosa* para las localidades y tiempos con datos suficientes como para ser estudiados. T1 = Noviembre 2016; T2 = Febrero 2017; T3 = Mayo 2017; T4 = Agosto 2017; T5 = Noviembre 2017; T6 = Febrero 2018.

**Tabla 5.** Resumen de los datos obtenidos para la biomasa (mg) de las semillas de *C. nodosa* para las localidades y tiempos con datos suficientes como para ser estudiados. T1 = Noviembre 2016; T2 = Febrero 2017; T3 = Mayo 2017; T4 = Agosto 2017; T5 = Noviembre 2017; T6 = Febrero 2018; P-valor para el test de normalidad Kolmogorov-Smirnov.

Variable	Localidad	Tiempo	Nº Semillas	Media	Desviación típica	1er Cuartil	Mediana	3er Cuartil	P-valor
Biomasa	Albufereta	T1	68	54.92	8.70671	48.58	53.75	62.60	0.5189
		T2	100	55.80	9.62150	48.50	56.30	63.00	0.7355
		T3	156	50.52	16.00902	42.75	54.90	61.70	0.001921
		T4	142	59.87	12.16640	55.42	62.10	67.70	0.02209
		T5	119	62.30	13.79893	60.70	66.90	69.95	7.355x10 <sup>-6</sup>
		T6	146	61.00	11.55634	57.92	62.55	68.17	0.002481
	Tabarca	T3	61	27.12	12.17068	17.90	24.30	36.10	0.5434

### 3.2.4. Frutos, semillas germinadas y plántulas

Se observaron frutos únicamente en la Albufereta en los muestreos de noviembre de 2016 y agosto de 2017, encontrándose una densidad media de 143 y 347 frutos/m<sup>2</sup>, respectivamente. No se detectaron semillas germinadas ni plántulas desarrolladas para ninguna de las localizaciones y tiempos estudiados.

## 4. DISCUSIÓN

La dinámica reproductora de las praderas de *Cymodocea nodosa* varía según las condiciones del ambiente en el que habita, encontrando así diferencias en los distintos procesos de su ciclo de vida (Terrados, 1993; Reyes *et al.*, 1995) y en las estrategias reproductoras utilizadas (Marbà y Walker, 1999; Smith *et al.*, 2016) según las localidades estudiadas.

La inversión de energía de esta especie para la producción de semillas varía según su ubicación (Rasheed, 2004). En un trabajo recopilatorio, Terrados y Marbà (2004) observaron que, generalmente, en el sedimento de las praderas de *C. nodosa* se encuentran por metro cuadrado valores máximos de entre 200-600 semillas. En el presente estudio, la densidad de semillas obtenida para las distintas localidades estudiadas muestra diferencias claras, siendo la Albufereta aquella con valores significativamente mayores (Tabla 3; Figura 9). En esta misma localidad se encontró un rango comprendido entre 303-663 semillas/m<sup>2</sup>, sugiriendo que el esfuerzo de reproducción sexual de esta pradera es alto en comparación con lo que sucede generalmente en esta especie. La densidad máxima de semillas encontrada en Tabarca (194 semillas/m<sup>2</sup>) indica un esfuerzo menor, al encontrarse ligeramente por debajo de

dicho rango. San Juan, por su parte, apenas se beneficia de este método de reproducción (0-13 semillas/m<sup>2</sup>).

El nivel de protección de las tres localidades de estudio frente a condiciones climatológicas es distinto, siendo la Albufereta la pradera más protegida seguida de Tabarca, mientras que San Juan presenta una mayor afección (Figuras 4 y 5). Dicha protección se refleja en las características de las tres praderas: mientras que Tabarca y la Albufereta presentan una alta densidad de haces y cobertura, los valores de ambas variables en San Juan son mucho menores (Tablas 1 y 2; Figuras 7 y 8). La baja densidad de haces en San Juan supone una peor translocación de los recursos para generar estructuras reproductivas (Dos Santos y Matheson, 2017), por lo que habrá menor número en función a la extensión de la pradera y, por tanto, menor producción de semillas. Debido a su configuración abierta y a las características de su sedimento (medio-fino), es probable que tras los temporales ocurridos según Puertos del Estado en los meses de diciembre y enero del periodo de estudio, las escasas semillas producidas se desenterraran más fácilmente y se perdieran antes de su germinación. Por otra parte, las localidades de la Albufereta y Tabarca presentan un hidrodinamismo menor al de San Juan, y una mayor densidad de haces, lo que se traduce en más estructuras reproductivas. A pesar de dichas similitudes, la densidad de semillas encontrada en Tabarca se reduce a más de la mitad en comparación con la pradera de la Albufereta. Esto puede deberse al nivel de protección intermedio de Tabarca, cuya pradera se vería ligeramente afectada por los temporales que ocurran, perdiéndose así parte de su banco.

El patrón temporal de la densidad de semillas que se observa en la Albufereta (Figura 9) indica parte del ciclo anual de *C. nodosa* para dicha localidad. Pese a no tener datos de algunos procesos, la presencia de semillas indica éxito de polinización, floración y fructificación. Según los resultados obtenidos, la producción de semillas en la pradera de la Albufereta ocurre en el periodo comprendido entre los meses de noviembre y febrero. Estos datos concuerdan con los obtenidos por Reyes *et al.* (1995), que observaron en diciembre algunos frutos adheridos a la planta. Por otra parte, se observaron frutos únicamente durante los meses de noviembre de 2016 y agosto de 2017 para la Albufereta, coincidiendo así con el final y el principio, respectivamente, del periodo completo de maduración de estos en el Mediterráneo (Buia y Mazzella, 1991; Reyes *et al.*, 1995). A pesar de no aparecer frutos en noviembre de 2017, sí hay producción de semillas, aunque menor, en el periodo de 2017-2018, por lo que también se ha dado el proceso de fructificación.

Como se ha mencionado anteriormente, en *C. nodosa* la germinación y el desarrollo de plántulas es escasa debido a las condiciones específicas que requiere. Para que ocurran ambos procesos, la salinidad de las zonas estudiadas (entre 36 y 38 psu; Fernández-Torquemada y Sánchez-Lizaso, 2005) debe reducirse para que esta especie pueda germinar durante la primavera (Caye y Meinesz, 1985). También es necesario que haya disponibilidad de luz y nutrientes (en particular N y P; Nielsen y Pedersen, 2000; Balestri *et al.*, 2010; Mascaró *et al.*, 2014). En este estudio no se encontraron semillas germinadas ni plántulas desarrolladas, por lo que el crecimiento de las praderas podría ser exclusivamente vegetativo para las tres localidades. Esta estrategia reproductiva viene indicada en San Juan por la casi completa ausencia de semillas, coincidiendo con el estudio de Alberto *et al.* (2001) en Ria Formosa (Portugal), cuya pradera presenta características similares a las de esta localidad. Sin embargo, en Tabarca y la Albufereta sí hay esfuerzo de reproducción sexual. La cobertura y densidad de haces podrían jugar un rol importante en este caso, ya que un mayor valor de estas variables reduciría el espacio y el nivel de irradiancia que reciben. Además, también limitaría la repartición de nutrientes, disminuyendo así la supervivencia de las plántulas (en caso de haberlas), o evitando directamente que estas emerjan al tener una densidad de población alta (es decir, actuando como control de la población al competir intraespecíficamente por los recursos). La investigación de Mascaró *et al.* (2014) en la bahía de Alfacs (Tarragona) secunda esta explicación. Asimismo, Balestri *et al.* (2010) afirmaron que la probabilidad de que se desarrollara plántula y sobreviviera disminuía al aumentar la densidad de semillas del banco, y estimaron que de 300 semillas/m<sup>2</sup> únicamente germinaban el 50%. Por su parte, otros estudios indican que de aquellas que consiguen germinar y desarrollar plántula, solo el 10-20% sobrevive (Orth *et al.*, 2007), por lo que la dificultad de observar este tipo de fenómenos es aún mayor, y explicaría también en parte su ausencia a lo largo del estudio.

El tamaño de las semillas varía intraespecíficamente según las condiciones de la ubicación de la pradera (Wyllie-Echevarría *et al.*, 2003). Estudios anteriores sobre las semillas de *C. nodosa* a lo largo de su distribución en el Mediterráneo occidental muestran dicha variabilidad, encontrándose los valores de longitud comprendidos entre 7-12 mm (Moreno y Guirado, 2006; Orth *et al.*, 2007). La morfología de las semillas de este estudio es dispar según las localidades estudiadas (Tabla 4): la Albufereta está entre 8-13.5 mm, llegando por tanto a encontrarse por encima de la franja mencionada; por su parte, las semillas de Tabarca son de 6.8-11 mm de longitud, coincidiendo casi

prácticamente con dichos estudios del Mediterráneo. En Mallorca, Pereda-Briones *et al.* (2018) caracterizó semillas de *C. nodosa*, determinando así su longitud (10.2 mm), anchura (6.4 mm) y grosor (1.4 mm) medios. Los resultados obtenidos para las semillas de la Albufera y Tabarca presentan una morfología distinta a esta, ya que para la primera localidad las semillas son de mayor longitud (11.998 mm) y anchura (7.508 mm), pero de grosor similar (1.389 mm), mientras que en la segunda son más redondeadas (9.116 mm de longitud, 6.944 mm de anchura y 1.267 mm de grosor).

Dada la ecología de las semillas, su biomasa es la característica que mayor información aporta para compararlas entre hábitats (Wyllie-Echeverría *et al.*, 2003). Las plantas utilizan nutrientes y fotosintatos para el desarrollo de las semillas. Una vez producidas, a lo largo del tiempo pierden algunos componentes, disminuyendo así su biomasa (Lee, 1988; Nielsen y Pedersen, 2000). En los resultados obtenidos para la Albufera se observan dos distribuciones distintas de semillas a partir de marzo de 2017, siendo la más pequeña de menor frecuencia (Tabla 5; Figura 10). Estos valores tan pequeños pueden corresponder a semillas producidas el año anterior, que se han ido degradando con el tiempo y han dejado de ser viables, coincidiendo con lo observado por Mascaró *et al.* (2014).

Las adaptaciones genéticas juegan un papel fundamental en el funcionamiento de las praderas y, por tanto, en las características de las semillas producidas (Smith *et al.*, 2016). En plantas terrestres se observó que el éxito de germinación aumenta junto al tamaño de las semillas, al presentar mayor probabilidad de desenterrarse y desarrollar una plántula que sobreviva frente a condiciones de mayor densidad de población y menor irradiancia (Venable, 1992; Jakobsson y Eriksson, 2000). En la Albufera, la diferencia de biomasa entre ambos periodos de producción de semillas es relativamente grande en comparación con el resto de tiempos, siendo febrero de 2018 donde se encuentran las semillas de mayor peso (Tabla 5; Figura 10). Junto a la menor producción de semillas que se da ese mismo año, es posible que esta diferencia se deba a un cambio de estrategia reproductiva, donde *C. nodosa* invierte mayor cantidad de energía en el tamaño de las semillas y no en número, con lo que aumentará la probabilidad de éxito reproductivo. Con respecto a las comparaciones entre hábitats, el número y la biomasa de las semillas para mayo de 2017 fue menor en Tabarca que en la Albufera (Tabla 5; Figura 10). Por un lado, la diferencia entre la producción de semillas puede deberse a adaptaciones de las propias praderas. En la bahía de Cádiz (Alberto *et al.*, 2005) y El Médano (Reyes *et al.*, 1995), las praderas de *C. nodosa*

presentan características similares a las de la Albufereta, al encontrarse en ambientes protegidos y ser genéticamente diversas. En los tres casos la producción de semillas está por encima de la media. Por otro lado, sabiendo que las semillas más grandes requieren menor irradiancia (Baskin y Baskin, 1998) y que la pradera de Tabarca recibe mayor cantidad de luz (Tuya *et al.*, *in prep*), es posible que por ello esta pradera invierta menor energía en el tamaño de sus semillas.

Por otra parte, puntualizar que algunos de los resultados obtenidos sobre las semillas durante el estudio pueden deberse al diseño experimental planteado. Para que aparezcan estructuras reproductoras, es necesario que la planta sea mayor a un año (Paulo *et al.*, 2016), por lo que si se muestreó en praderas de menor edad no aparecerían semillas. Además, al ser una planta de pequeño tamaño, cuyas flores son de estructura simple, es complicado distinguirlas. En concreto, las flores femeninas se encuentran protegidas dentro de la vaina, y únicamente asoman sus estigmas (Buia y Mazzella, 1991). Al ser las que producen los frutos, las semillas quedan enterradas bajo las praderas de este sexo, por lo que si el muestreo se realiza en praderas masculinas la densidad de semillas será prácticamente nula. La distancia entre praderas de ambos sexos también juega un papel clave en el éxito de polinización y, por tanto, en la fructificación (Caye y Meinesz, 1985). Para reducir la variabilidad de los resultados, una de las posibles mejoras para este trabajo sería tener en cuenta el sexo de la pradera a la hora de muestrear, así como la distancia entre ambos individuos. Asimismo, es posible que el número de réplicas (n=10) no aportara suficiente información, por lo que un aumento de estas mejoraría los resultados.

Por último, convendría adaptar y continuar este proyecto con el fin de obtener información más concluyente al respecto, dado el desconocimiento general, y en concreto de la provincia de Alicante, sobre la dinámica reproductora de las praderas de *Cymodocea nodosa*. Como se ha mencionado anteriormente, conocer la reproducción y morfología de sus semillas ayudará a desarrollar mejores medidas de gestión y conservación y posibles futuros proyectos de restauración de las praderas de esta especie.

## **5. CONCLUSIÓN**

La densidad del banco de semillas es mayor en la localidad más protegida, mientras que difícilmente aparecen semillas en el resto de localidades, excepto para Tabarca durante mayo de 2017.

No se encontraron diferencias en la producción de semillas entre los seis tiempos muestreados. A pesar de ello, el patrón temporal de la Albufereta, junto a la aparición de frutos en los meses de noviembre de 2016 y agosto de 2017 en esta misma localidad, muestran parte del ciclo anual de su pradera. No se observaron semillas germinadas ni plántulas desarrolladas.

La biomasa de las semillas de la Albufereta es relativamente menor para la producción de 2016-2017 frente a la ocurrida en 2017-2018, y mayor en mayo de 2017 frente a la pradera de Tabarca.

## **5. CONCLUSION**

The seed bank density is higher in the most protected location, while seeds hardly appear in the rest of the locations, except for Tabarca in May 2017. No differences in seed production were found through time.

Nevertheless, the temporal pattern in Albufereta, alongside the appearance of fruits in November 2016 and August 2017 in the same location, show part of the annual cycle of its meadow. No germinated seeds or developed seedlings were observed in this study.

Seed biomass in Albufereta is relatively lower in the production period of 2016-2017 compared to the one in 2017-2018, and higher in May 2017 compared to Tabarca's meadow.



## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Ackerman, J. D. (2007). Sexual reproduction of seagrasses: pollination in the marine context; in *Seagrasses: Biology, ecology and conservation* (Larkum, A. W. D., Orth, R. J., Duarte, C. M., eds). Springer. Dordrecht, The Netherlands, 89-109.
- Alberto, F., Mata, L., and Santos, R. (2001). Genetic homogeneity in the seagrass *Cymodocea nodosa* at its Northern Atlantic limit revealed through RAPD. *Marine Ecology Progress Series*, 221: 299-301.
- Alberto, F., Gouveia, L., Arnaud-Haond, S., Pérez-Lloréns, J. L., Duarte, C. M., and Serrão, E. A. (2005). Within-population spatial genetic structure, neighbourhood size and clonal subrange in the seagrass *Cymodocea nodosa*. *Molecular Ecology*, 14, 9: 2669-2681.
- Alberto, F., Arnaud-Haond, S., Duarte, C. M., and Serrão, E. A. (2006). Genetic diversity of a clonal angiosperm near its range limit: the case of *Cymodocea nodosa* at the Canary Islands. *Marine Ecology Progress Series*, 309: 117-129.
- Alberto, F., Massa, S., Manent, P., Díaz-Almela, E., Arnaud-Haond, S., Duarte, C. M., and Serrão, E. A. (2008). Genetic differentiation and secondary contact zone in the seagrass *Cymodocea nodosa* across the Mediterranean–Atlantic transition region. *Journal of Biogeography*, 35, 7: 1279-1294.
- Balestri, E., and Cinelli, F. (2003). Sexual reproductive success in *Posidonia oceanica*. *Aquatic Botany*, 75, 1: 21-32.
- Balestri, E., and Lardicci, C. (2012). Nursery-propagated plants from seed: a novel tool to improve the effectiveness and sustainability of seagrass restoration. *Journal of Applied Ecology*, 49, 6: 1426-1435.
- Balestri, E., Vallerini, F., and Lardicci, C. (2010). Effect of seed density and sediment nutrient heterogeneity on recruitment and early patch growth in the seagrass *Cymodocea nodosa*. *Marine Ecology Progress Series*, 417: 63-72.
- Barberá, C., Tuya, F., Boyra, A., Sánchez-Jerez, P., Blanch, I., and Haroun, R. J. (2005). Spatial variation in the structural parameters of *Cymodocea nodosa* seagrass meadows in the Canary Islands: a multiscaled approach. *Botanica Marina*, 48, 2: 122-126.
- Baskin, C. C., and Baskin, J. M. (1998). Germination ecology of seeds in the persistent seed bank; in *Seeds: ecology, biogeography, and, evolution of dormancy and*

- germination* (Baskin, C. C., and Baskin, J. M., eds.). Elsevier, California, USA, 187-276.
- Bell, S. S., Fonseca, M. S., and Kenworthy, W. J. (2008). Dynamics of a subtropical seagrass landscape: links between disturbance and mobile seed banks. *Landscape Ecology*, 23, 1: 67-74.
- Boudouresque, C. F., Bernard, G., Pergent, G., Shili, A., and Verlaque, M. (2009). Regression of Mediterranean seagrasses caused by natural processes and anthropogenic disturbances and stress: a critical review. *Botanica Marina*, 52, 5: 395-418.
- Buia, M., and Mazzella, L. (1991). Reproductive phenology of the Mediterranean seagrasses *Posidonia oceanica* (L.) Delile, *Cymodocea nodosa* (Ucria) Aschers., and *Zostera noltii* Hornem. *Aquatic Botany*, 40, 4: 343-362.
- Cabaço, S., Ferreira, Ó., and Santos, R. (2010). Population dynamics of the seagrass *Cymodocea nodosa* in Ria Formosa lagoon following inlet artificial relocation. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 87, 4: 510-516.
- Calvo, S., Lovison, G., Pirrotta, M., Di Maida, G., Tomasello, A., and Sciandra, M. (2006). Modelling the relationship between sexual reproduction and rhizome growth in *Posidonia oceanica* (L.) Delile. *Marine Ecology*, 27, 4: 361-371.
- Cancemi, G., Buia, M. C., and Mazzella, L. (2002). Structure and growth dynamics of *Cymodocea nodosa* meadows. *Scientia Marina*, 66, 4: 365-373.
- Caye, G., and Meinesz, A. (1985). Observations on the vegetative development, flowering and seeding of *Cymodocea nodosa* (Ucria) Ascherson on the Mediterranean coasts of France. *Aquatic Botany*, 22, 3-4: 277-289.
- Caye, G., Bulard, C., Meinesz, A., and Loques, F. (1992). Dominant role of seawater osmotic pressure on germination in *Cymodocea nodosa*. *Aquatic Botany*, 42, 2: 187-193.
- De Juan, C. (2009). La bahía de l'Albufereta (Alicante). Una " statio " náutica en el levante peninsular. *SAGVNTVM. Papeles del Laboratorio de Arqueología de Valencia*, 41: 129-148.
- Dos Santos, V. M., and Matheson, F. E. (2017). Higher seagrass cover and biomass increases sexual reproductive effort: a rare case study of *Zostera muelleri* in New Zealand. *Aquatic Botany*, 138: 29-36.

- Duarte, C. M., and Sand-Jensen, K. (1990). Seagrass colonization: biomass development and shoot demography in *Cymodocea nodosa* patches. *Marine Ecology Progress Series. Oldenford*, 67, 1: 93-103.
- Elma, E. (2011). *Germination and Seed Bank Analysis of Zostera Marina*. Proyecto fin de carrera Universidad de Kiel, 39 pp.
- Espino, F., Tuya, F., Blanch, I. y Haroun, R. J. (2008). *Los sebaales en Canarias. Praderas de fanerógamas marinas*. BIOGES, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, 68 pp.
- Fernández-Torquemada, Y., and Sánchez-Lizaso, J. L. (2005). Effects of salinity on leaf growth and survival of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 320, 1: 57-63.
- Fishman, J. R., and Orth, R. J. (1996). Effects of predation on *Zostera marina* L. seed abundance. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 198, 1: 11-26.
- Garrido, M., Lafabrie, C., Torre, F., Fernández, C., and Pasqualini, V. (2013). Resilience and stability of *Cymodocea nodosa* seagrass meadows over the last four decades in a Mediterranean lagoon. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 130: 89-98.
- Gimeno-Monforte, S. (2017). *Caracterización de praderas de Cymodocea nodosa en la provincia de Alicante y factores que influyen en su estructura*. Trabajo fin de grado Universidad de Alicante, 59 pp.
- Green, E. P., Short, F. T., and Frederick, T. (2003). Introduction to the World Atlas of Seagrasses; in *World atlas of seagrasses* (Green, E. P., Short, F. T., and Frederick, T., eds.). University of California Press, Cambridge, 1-4.
- Infantes, E., Orfila, A., Bouma, T. J., Simarro, G., and Terrados, J. (2011). *Posidonia oceanica* and *Cymodocea nodosa* seedling tolerance to wave exposure. *Limnology and Oceanography*, 56, 6: 2223-2232.
- Jakobsson, A., and Eriksson, O. (2000). A comparative study of seed number, seed size, seedling size and recruitment in grassland plants. *Oikos*, 88, 3: 494-502.
- Kendrick, G. A., Orth, R. J., Statton, J., Hovey, R., Ruiz Montoya, L., Lowe, R. J., Krauss, S. L. and Sinclair, E. A. (2017). Demographic and genetic connectivity: the role and consequences of reproduction, dispersal and recruitment in seagrasses. *Biological Reviews*, 92, 2: 921-938.

- Kenworthy, W. J. (1999). The role of sexual reproduction in maintaining populations of *Halophila decipiens*: implications for the biodiversity and conservation of tropical seagrass ecosystems. *Pacific Conservation Biology*, 5, 4: 260-268.
- Lee, T. D. (1990). Ecological Forces. Patterns of fruit and seed production; in *Plant reproductive ecology: patterns and strategies* (Lovett-Doust, J., and Lovett-Doust, L., eds.). Oxford University Press, New York, 179-202.
- Lokker, C., Lovett-Doust, L., and Lovett-Doust, J. (1997). Seed output and the seed bank in *Vallisneria americana* (Hydrocharitaceae). *American Journal of Botany*, 84, 10: 1420-1428.
- Marbà, N., and Duarte, C. M. (1998). Rhizome elongation and seagrass clonal growth. *Marine Ecology Progress Series*, 174: 269-280.
- Marbà, N., and Walker, D. I. (1999). Growth, flowering, and population dynamics of temperate Western Australian seagrasses. *Marine Ecology Progress Series*, 184: 105-118.
- Marbà, N., Duarte, C. M., Alexandra, A., Cabaço, S. (2004a). How do seagrasses grow and spread?; in *European seagrasses: an introduction to monitoring and management* (Borum, J., Duarte, C. M., Greve, T. M., and Krause-Jensen, D., eds.). Monitoring and Managing of European Seagrasses Project, 11-18.
- Marbà, N., Terrados, J. y Templado, J. (2004b). Las praderas de *Cymodocea nodosa*. Estructura y crecimiento clónico; en *Praderas y bosques marinos de Andalucía* (Luque, Á. A., y Templado, J., eds.). Andalucía, Junta de Andalucía. Consejería de Medio Ambiente, 138-142.
- Marbà, N., Díaz-Almela, E., and Duarte, C. M. (2014). Mediterranean seagrass (*Posidonia oceanica*) loss between 1842 and 2009. *Biological Conservation*, 176: 183-190.
- Mascaró, O., Romero, J., and Pérez, M. (2014). Seasonal uncoupling of demographic processes in a marine clonal plant. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 142: 23-31.
- McDonald, A. M., Prado, P., Heck Jr, K. L., Fourqurean, J. W., Frankovich, T. A., Dunton, K. H., and Cebrian, J. (2016). Seagrass growth, reproductive, and morphological plasticity across environmental gradients over a large spatial scale. *Aquatic Botany*, 134: 87-96.
- Moreno, D., y Guirado, J. (2006). Nuevos datos sobre la floración, fructificación y germinación de fanerógamas marinas en Andalucía. *Acta Botánica Malacitana*, 31: 51-72.

- Nielsen, S. L., and Pedersen, M. F. (2000). Growth, photosynthesis and nutrient content of seedlings and mature plants of *Cymodocea nodosa*—the importance of clonal integration. *Aquatic Botany*, 68, 3: 265-271.
- Olesen, B., Enríquez, S., Duarte, C. M., and Sand-Jensen, K. (2002). Depth-acclimation of photosynthesis, morphology and demography of *Posidonia oceanica* and *Cymodocea nodosa* in the Spanish Mediterranean Sea. *Marine Ecology Progress Series*, 236: 89-97.
- Olesen, B., Marbà, N., Duarte, C., Savelle, R., and Fortes, M. (2004). Recolonization dynamics in a mixed seagrass meadow: the role of clonal versus sexual processes. *Estuaries*, 27, 5: 770-780.
- Oliva, S., Mascaró, O., Llagostera, I., Pérez, M., and Romero, J. (2012). Selection of metrics based on the seagrass *Cymodocea nodosa* and development of a biotic index (CYMOX) for assessing ecological status of coastal and transitional waters. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 114: 7-17.
- Orfanidis, S., Papathanasiou, V., Gounaris, S., and Theodosiou, T. H. (2010). Size distribution approaches for monitoring and conservation of coastal *Cymodocea* habitats. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 20, 2: 177-188.
- Orth, R. J., Harwell, M. C., Bailey, E. M., Bartholomew, A., Jawad, J. T., Lombana, A. V., Moore, K. A., Rhode, J. M., and Woods, H. E. (2000). A review of issues in seagrass seed dormancy and germination: implications for conservation and restoration. *Marine Ecology Progress Series*, 200: 277-288.
- Orth, R. J., Harwell, M. C., and Inglis, G. J. (2007). Ecology of seagrass seeds and seagrass dispersal processes; in *Seagrasses: Biology, ecology and conservation* (Larkum, A. W. D., Orth, R. J., Duarte, C. M., eds). Springer. Dordrecht, The Netherlands, 111-133.
- Paulo, D., Manent, P., Barrio, J. M., Alvares Serrão, E., and Alberto, F. (2016). Recruit survival of *Cymodocea nodosa* along a depth gradient. *Cahiers De Biologie Marine*, 57, 2: 137-144.
- Pereda-Briones, L., Infantes, E., Orfila, A., Tomas, F., and Terrados, J. (2018). Dispersal of seagrass propagules: interaction between hydrodynamics and substratum type. *Marine Ecology Progress Series*, 593: 47-59.
- Procaccini, G., Buia, M., Gambi, M., Perez, M., Pergent, G., Pergent-Martini, C., and Romero, J. (2003). The Western Mediterranean; in *World Atlas of Seagrasses*

- (Green, E. P. and Short, F. T., eds.). UNEP World Conservation Monitoring Centre. University of California Press. Berkeley, USA, 48-58.
- Ramage, D. L., and Schiel, D. R. (1998). Reproduction in the seagrass *Zostera novazelandica* on intertidal platforms in southern New Zealand. *Marine Biology*, 130, 3: 479-489.
- Rasheed, M. A. (2004). Recovery and succession in a multi-species tropical seagrass meadow following experimental disturbance: the role of sexual and asexual reproduction. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 310, 1: 13-45.
- Reyes, J., Sansón, M., and Afonso-Carrillo, J. (1995). Distribution and reproductive phenology of the seagrass *Cymodocea nodosa* (Ucria) Ascherson in the Canary Islands. *Aquatic Botany*, 50, 2: 171-180.
- Sandoval-Gil, J. M., Marín-Guirao, L., and Ruiz, J. M. (2012). The effect of salinity increase on the photosynthesis, growth and survival of the Mediterranean seagrass *Cymodocea nodosa*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 115: 260-271.
- Sandoval-Gil, J. M., Ruiz, J. M., Marín-Guirao, L., Bernardeau-Esteller, J., and Sánchez-Lizaso, J. L. (2014). Ecophysiological plasticity of shallow and deep populations of the Mediterranean seagrasses *Posidonia oceanica* and *Cymodocea nodosa* in response to hypersaline stress. *Marine Environmental Research*, 95: 39-61.
- Smith, T. M., York, P. H., Macreadie, P. I., Keough, M. J., Ross, D. J., and Sherman, C. D. (2016). Spatial variation in reproductive effort of a Southern Australian seagrass. *Marine Environmental Research*, 120: 214-224.
- Terrados, J. (1993). Sexual reproduction and seed banks of *Cymodocea nodosa* (Ucria) Ascherson meadows on the Southeast Mediterranean coast of Spain. *Aquatic Botany*, 46, 3-4: 293-299.
- Terrados, J. y Marbà, N., (2004). Las praderas de *Cymodocea nodosa*. Capacidad de dispersión y colonización; en *Praderas y bosques marinos de Andalucía* (Luque, Á. A., y Templado, J., eds.). Andalucía, Junta de Andalucía. Consejería de Medio Ambiente, 143-144.
- Tros-de-Llarduya, M. (2005). Temporales marítimos y ordenación del territorio en la provincia de Alicante. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 40: 329-350.
- Tuya, F., Fernández-Torquemada, Y., Zarcero, J., del Pilar Ruso, Y., Csenteri, I., Espino, F., Manent, P., Curbelo, L., Antich, A., Royo, L., Procaccini, G., Terrados,

- J., and Tomás, F. (*in prep*). Biogeography modulates seagrass resistance to small-scale perturbations.
- Venable, D. L. (1992). Size-number trade-offs and the variation of seed size with plant resource status. *The American Naturalist*, 140, 2: 287-304.
- Vidondo, B., Duarte, C. M., Middelboe, A. L., Stefansen, K., Lützen, T., and Nielsen, S. L. (1997). Dynamics of a landscape mosaic: size and age distributions, growth and demography of seagrass *Cymodocea nodosa* patches. *Marine Ecology Progress Series*, 158: 131-138.
- Wang, M., Wang, Y., Guo, X., Sha, J., Zhang, H., Tang, X., and Zhou, B. (2016). Reproductive properties of *Zostera marina* and effects of sediment type and burial depth on seed germination and seedling establishment. *Aquatic Botany*, 134: 68-74.
- Wyllie-Echeverria, S., Cox, P. A., Churchill, A. C., Brotherson, J. D., and Wyllie-Echeverria, T. (2003). Seed size variation within *Zostera marina* L. (Zosteraceae). *Botanical Journal of the Linnean Society*, 142, 3: 281-288.
- Zarranz, M. E., González-Henríquez, N., García-Jiménez, P., and Robaina, R. R. (2010a). Restoration of *Cymodocea nodosa* (Uchria) Ascherson seagrass meadows through seed propagation: seed storage and influences of plant hormones and mineral nutrients on seedling growth in vitro. *Botanica Marina*, 53, 5: 439-448.
- Zarranz, M. E., González-Henríquez, N., García-Jiménez, P., and Robaina, R. R. (2010b). Restoration of *Cymodocea nodosa* seagrass meadows through seed propagation: germination in vitro, seedling culture and field transplants. *Botanica Marina*, 53, 2: 173-181.

## 7. ANEXO

### 7.1. Cronograma

ACTIVIDADES	2017		2018						
	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio
Documentación sobre el tema									
Búsqueda bibliográfica									
Procesado de muestras									
Análisis de los datos									
Redacción de la memoria									
Preparación de la exposición									

**Figura 11.** Cronograma de actividades realizadas a lo largo de este estudio y su distribución en el tiempo.

